

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Využití elektrické trakce v kolejové dopravě
Use of electric traction in rail transport

2013

Martin Mižd'och

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektrotechniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Mižd'och**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Využití elektrické trakce v kolejové dopravě**
Use of electric traction in rail transport

Zásady pro vypracování:

1. Historický vývoj elektrizace kolejové dopravy
2. Dělení elektrizovaných tratí
3. Trakční vedení
4. Trakční motory
5. Tramvaj T3

1. Historical development of electric railways
2. Sorting of electric railways
3. Contact lines for electric railways
4. Traction motors
5. Tram T3

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Kiessling, F. et al.: Contact Lines for Electric Railways, Siemens, A.G. Berlin and Munich 2001
[2] Lanáková, G.; Oslovič, V.: Pevné elektrické trakčné zariadenia, skriptum ŽU v Žiline 2006

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Josef Paleček, CSc.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 7.5.2013 Matěj Nášek

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Josefu Palečkovi, CSc. za jeho ochotný přístup a odborné rady při řešení mé bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce přibližuje problematiku kolejové elektrické trakce. Zpracovává pohled především z elektrické části, ale najdete zde i průřez světovou a naší historií a konstrukční části elektrické trakce. V prvních dvou kapitolách je již zmíněná historie a rozdělení elektrické trakce dle určitých kritérií. Důležitou částí jsou trakční vozidla. Dále práce pokračuje rozбором trakčního vedení a trakčních motorů, které se nejčastěji používají. Hlavní součástí této bakalářské práce je popis vybraného trakčního vozidla tramvaje T3. Tato kapitola obsahuje parametry, konstrukci, elektrickou výzbroj a princip řízení.

Klíčová slova

Elektrická trakce, trakční vozidla, trakční motory, tramvaj T3

Abstract

Bachelor thesis approaches the issue of railway's electric traction. Making a view mainly on electrical parts, but it's possible to find information across the world and history and components of electric traction itself. In the first two chapters is already mentioned the history and distribution of electric traction according to defined criteria. An important part is traction vehicles. The thesis continues with an analysis of traction lines and traction motors, which are most commonly used. The main component of this work is description of selected vehicle traction tram T3. This section includes parameters, construction, electrical equipment and control principle.

Key Words

Electric traction, traction vehicles, traction motors, tram T3

Seznam použitých zkratek

°C	stupeň Celsia
1M – 4M	kotvy motorů
A	ampér
Ah	ampérhodina
apod.	a podobně
E	energie
F1 – F4	stykače
Hz	hertz
I	proud
ICE	Intercity-Express
km	kilometr
km/h	kilometr za hodinu
kV	kilovolt
kW	kilowatt
kWh	kilowatthodina
LS	linkový stykač
m	hmotnost
M	moment
m/s ²	metr za sekundu na druhou
M1 a M2	stykače
m ³ /min	metr krychlový za minutu
min ⁻¹	otáčky za minutu
mm	milimetr
mm ²	milimetr čtverečný
MR	maximální relé
MW	megawatt
M _Z	záběrný moment
M _{ZV}	moment zvratu
n	otáčky

N/m	newton na metr
např.	například
n_s	synchronní otáčky
OR	omezovací relé
P1 – P4	stykače
R1 a R2	omezovací odpory
s	skluz
ss	stejnoseměrné napětí
TGV	Train à Grande Vitesse
TNS	trakční napájecí stanice
v	rychlost
V	volt
Z1 – Z4	stykače

Obsah

1	Úvod	1
2	Historie a současnost	2
2.1	Historie ve světě	2
2.2	První elektrická trakce v Česku a současný stav	3
2.3	Historie elektrické trakce v Ostravě a současná situace	4
3	Třídění elektrické trakce	5
3.1	Rozdělení dle účelu	5
3.2	Rozdělení dle rozchodu	5
3.3	Rozdělení podle napěťové soustavy	5
3.3.1	Střídavé napájecí proudové systémy průmyslového kmitočtu 50 (60) Hz	6
3.3.2	Střídavé napájecí proudové systémy sníženého kmitočtu 16 2/3 (25) Hz	6
3.3.3	Stejnoseměrné napájecí proudové systémy	6
3.4	Rozdělení dle závislosti na přívodu energie do vozidla	6
3.4.1	Vozidla závislé elektrické trakce	6
3.4.2	Vozidla nezávislé elektrické trakce	8
4	Trakční vedení	10
4.1	Parametry trakčního vodiče	10
4.2	Způsoby napájení	11
4.3	Konstrukce trakčního vedení	14
4.4	Druhy trolejových vedení	14
4.4.1	Prosté, nenapínané vedení bez nosného lana	14
4.4.2	Řetězovkové vedení	15
5	Trakční motory	17
5.1	Druhy trakčních motorů	17
5.1.1	Stejnoseměrný sériový motor	17
5.1.2	Střídavý trojfázový asynchronní motor	18
5.2	Řízení trakčních motorů	19

6	Tramvaj T3	21
6.1	Parametry tramvaje T3	21
6.1.1	Technický výkres tramvaje T3	22
6.2	Konstrukce tramvaje T3	23
6.2.1	Podvozek a centrální rám	23
6.2.2	Skříň	23
6.3	Elektrická výzbroj tramvaje T3	24
6.4	Řízení tramvaje T3	24
6.4.1	Základní zapojení	24
6.4.2	Rozjezd a zrychlení	25
6.4.3	Trakční obvod za jízdy	25
6.4.4	Doběh a brzdění	25
6.4.5	Zpáteční jízda	26
6.5	Trakční motor TE 022	27
6.5.1	Parametry motoru	27
6.6	Modernizovaná tramvaj T3M	27
7	Závěr	28
	Seznam literatury	29
	Seznam tabulek a obrázků	30

1 Úvod

Elektrická trakce je způsob přepravy osob nebo zboží takovým zařízením, které je poháněno elektrickou energií. Toto zařízení se může pohybovat na kolejích, což je nejrozšířenější, dále pak na silnici nebo na polštáři magnetického pole, které využívají magnetické levitace.

Elektrická trakce v kolejové dopravě je jedním z nejvýznamnějších oborů využití elektrické energie. Pokud bereme v úvahu pouze kolejovou dopravu, má mnoho výhod oproti ostatním druhům dopravy. V dnešní době jsou dvě základní kritéria, a to cena a rychlost. Kolejová doprava je jedna z nejlevnějších druhů dopravy, když bereme poměr mezi počtem přepravených osob nebo množství materiálu na cenu paliva. A navíc může převážet i nadměrné náklady, jako jsou například součásti pro elektrárny. Proto se vždy staví elektrárny poblíž železničních koridorů. Ani v rychlosti tyto dopravní prostředky nezaostávají. Velké rychlosti jsou vhodné jen pro dlouhé tratě a pro přepravu cestujících. Proto mnoho států Evropy, ale i mimoevropské státy začaly provozovat vysokorychlostní vlaky. Například Německo vlak ICE, Francie TGV a Japonsko Šinkansen.

V první kapitole své bakalářské práce stručně rozeberu historický vývoj elektrické trakce. Zaměřím se na postupný vývoj trakce ve světě. Od prvních pokusů s galvanickými bateriemi až po střídavé třífázové pohony. Dále se budu zabývat historií a současností v České republice. Zde můžete najít první elektrické tratě a vozový park. Poslední část této kapitoly vylíčí historický vývoj elektrické trakce v Ostravě až do současného stavu vozového parku.

V následující kapitole rozdělím elektrickou trakci podle různých kritérií, například podle účelu a rozchodu kolejnic. Dalším typem dělení je podle napájecí soustavy a kmitočtu. Kmitočty používáme pouze tři: průmyslový kmitočet 50 Hz, snížený kmitočet 16,67 Hz a nulový kmitočet, což je stejnosměrné napětí. U každého z těchto kmitočtů se používá několik velikostí napětí. A v poslední části přiblížím problematiku závislých a nezávislých vozidel.

Důležitou částí elektrické trakce je trakční vedení, proto bude čtvrtá kapitola věnována právě tomuto tématu. Rozeberu trakční vodič, používané materiály a průřezy. Dále trakční napájecí stanice, což jsou měničny a transformovny. Následně napájení trakčních napájecích stanic a trakčního vedení. V poslední části se zaměřím na provozní a povětrnostní vlivy, které působí na trakční vedení. S tím souvisí jednotlivé druhy trolejových vedení a jejich kompenzace.

Předposlední kapitola přibližuje problematiku řízení trakčních motorů. Začátek bude věnován výběru motoru podle vlastností a také zde budou uvedeny dva nejpoužívanější motory, což jsou stejnosměrný sériový motor a střídavý trojfázový asynchronní motor. V druhé části této kapitoly budou popsány jednotlivé druhy řízení: dělby napětí skupinovým řazením trakčních motorů, řízení regulačním transformátorem a usměrňovačem, odporová regulace, pulzní regulace stejnosměrných motorů a řízení frekvenčním měničem. Na konci bude popsán princip brzdění.

Hlavní součást této bakalářské práce bude věnován tramvaji T3. Vybral jsem si ji, jelikož je i dnes hojně k vidění téměř ve všech verzích a bylo jich vyrobeno nejvíce v celé historii.

2 Historie a současnost

2.1 Historie ve světě

První bezejmenná lokomotiva s parním motorem byla objevena v roce 1804 britským konstruktérem a vynálezcem Richardem Trevithickem. Tato lokomotiva dokázala tahat již desetičlennou soupravu. Významný rozvoj parostrojní železniční dopravy nastává především v Británii, ale až ve 20. a 30. letech devatenáctého století.

Za první kolejové vozidlo, které bylo poháněno elektrickou energií, je považována lokomotiva skotského inženýra Roberta Davidsona vyrobená v roce 1837, což je z dnešního pohledu poměrně brzo před parní lokomotivou. V roce 1841 tento prototyp vylepšil a předvedl na Skotské královské vědecké společnosti. Oba typy byly poháněny galvanickými bateriemi. První uvezl pouze dva lidi, druhý už náklad o hmotnosti 7 tun. Měly malou kapacitu baterií, tudíž jejich dojezd byl jen stovky metrů.

Lokomotiva s externím zdrojem elektrické energie byla poprvé představena v roce 1879 v Berlíně. Tento stroj předvedl německý vynálezce a konstruktér Werner von Siemens. Lokomotivu poháněl stejnosměrný motor o výkonu 2,2 kW. Trakční vedení nebylo klasické trolejové lanové vedení jako v současnosti, ale použil se systém třetí kolejnice. Touto kolejnici bylo přivedeno 150 V ss, použilo se tak nízké napětí kvůli bezpečnosti. Podobný systém dnes nalezneme u metra, či speciálních kolejových drah. Přesto však o 11 let později použil Werner von Siemens jako první lanové trakční vedení u své tramvajové linky v Berlíně. U této tramvaje vozy tahaly malý vozík se sběračem, což zdaleka připomínalo dnešní sběrač. Třetí napájecí kolejnici používala i americká lokomotiva v roce 1883. Tato lokomotiva měla už standardní rozchod kolejníc a byla vybavená regulací výkonu a dokonce elektrodynamickou brzdou.

Využití stejnosměrného proudu pro elektrické trakce na delší vzdálenosti v té době bylo značně nevýhodné, jelikož nebylo zatím výkonové elektrické zařízení a při přenosu na delší vzdálenosti vznikaly velké ztráty. Proto se začalo přecházet k napájení střídavým proudem. Ideálním pohonem se nejprve zdál trojfázový asynchronní motor s kotvou nakrátko, pro svou jednoduchou konstrukci bez komutátoru. První pokusy byly v roce 1902 v Německu, kde zkušební vozy dosáhly rychlost přes 200 km/h, což byl nejrychlejší lidský výtvar do té doby. Avšak problém nastal s přívodem proudu k vozům. Trakční vedení tvořily tři fáze nad sebou, tudíž byl složitý sběrač. Toto zapojení se zkoušelo ještě v Itálii, kde dvě fáze byly v trolejích a jedna fáze v kolejích. Poté se přešlo k napájení jednofázovým proudem, kdy se dal využít sériový komutátorový motor. Trojfázový pohon se vrací až v současnosti po vynálezu elektronických střídačů.

2.2 První elektrická trakce v Česku a současný stav

Prvním vozidlem poháněným elektrickým proudem v Českých zemích, ale i v Rakousku – Uhersku, byl v roce 1899 upravený vůz pražské tramvaje. Tento vůz testoval pražský vynálezce František Křižík a napájel se vlastním zdrojem. Křižík a jeho firma se snažili přesvědčit pražské vlastníky tehdejších železničních tratí o výhodnou elektrizaci, ale přesvědčování se nepovedlo. Proto se první elektrizovanou sítí u nás stala trať z Tábora do Bechyně. Ta byla napájena velice netradičně. Měla dvoudrátový stejnosměrný přívod, na jednom bylo napětí vůči zemi + 700 V a na druhém - 700 V. Cestující se zde poprvé projeli v roce 1903.

Další elektrizovaná síť na našem území se stala Rybník (v té době Certlov) – Lipno. Na této trati dlouhé 22 kilometrů se poprvé projeli cestující v roce 1911. Zajímavostí je, že byla napájena stejnosměrným napětím o hodnotě 1280 V z nedaleké vodní elektrárny v Horním Mlýně. V podstatě díky této elektrárně došlo zde k elektrizaci. Po rekonstrukci je nyní trať provozována systémem 25 kV s frekvencí 50 Hz.

Tab. 1 Dopravní park elektrické trakce v ČR

	2005	2007	2008	2009	2010	2011
Trolejbusy	719	740	738	733	735	728
<i>podle věkových kategorií</i>						
do 8 let	221	263	251	251	257	277
od 9 do 11 let	113	53	67	79	89	95
od 12 do 20 let	375	384	356	319	306	259
přes 20 let	10	40	64	84	83	97
Tramvaje	1 855	1 877	1 882	1 866	1 826	1 828
<i>podle věkových kategorií</i>						
do 8 let	346	488	549	536	560	560
od 9 do 11 let	236	180	73	93	76	155
od 12 do 20 let	612	425	389	449	373	438
přes 20 let	661	784	871	788	817	675
Metro	420	567	576	610	635	685
<i>podle věkových kategorií</i>						
do 8 let	225	465	520	490	512	501
od 9 do 11 let	0	0	15	120	123	184
od 12 do 20 let	174	87	41	0	0	0
přes 20 let	21	15	0	0	0	0
Lokomotivy	2 350	2 414	2 222	2 054	2 085	2 076
<i>podle zdroje pohonu</i>						
Elektrické	933	971	945	863	853	860
Motorové	1 390	1 416	1 247	1 162	1 201	1 185
Parní	27	27	30	29	31	31

[9]

2.3 Historie elektrické trakce v Ostravě a současná situace

Město Ostrava a okolní obce se staly koncem 19. století místem, kde vznikala jedna z největších průmyslových oblastí Evropy. Rostl počet obyvatel, hutí, strojních závodů a dolů a tím se začala řešit otázka místní dopravy. V roce 1894 zde byla spuštěna parní tramvaj, na standardním rozchodu kolejí 1435 mm.

Po postavení první elektrárny na Ostravsku v roce 1897 se chystala elektrifikace parní tramvaje. Tato tramvaj již nestačila stále většímu počtu obyvatel. Elektrické tramvaje se v roce 1901 poprvé projely v ulicích města, všech 15 vozidel dodala polská vagónka v Sanoku. První trasa byla Přívoz – Moravská Ostrava – Vítkovice. Postupem času se trasy začaly rozrůstat. K první trase přibýlo spojení do Svinova, poté byla připojena Hrabůvka a Zábřeh. Ve směru na Karvinsko a Bohumínsko se budovaly úzkorozchodné koleje, které později nahradila trolejbusová doprava.

V období druhé světové války došlo k vybombardování Ostravy a ke zničení velké části dopravy. Zbytek dopravních prostředků rozkradla německá a poté Rudá armáda. Obnovit hromadnou dopravu se podařilo až v roce 1946. V té době se začalo hodně přecházet na autobusovou dopravu, to trvalo až do roku 1978. Po tomto roce se vraceli dopravci k elektrické trakci z důvodu rostoucí ceny ropy a v ulicích se začaly objevovat nové druhy tramvají jako T3 a KT8D5.

Po roce 1989 opět došlo k narušení městské hromadné dopravy, a to povodněmi v roce 1997. Od té doby se snaží Dopravní podnik v Ostravě postupně zmodernizovat tramvajové linky.

Tab. 2 Vozový park Dopravního podniku Ostrava

	Vozový park:	Počet linek:	Délka provozní sítě (km):
Tramvaje:	273	17	65,7
Trolejbusy:	64	10	29,3
Autobusy:	310	58	359,2
Celkem:	647	85	454,2

[8]

3 Třídění elektrické trakce

3.1 Rozdělení dle účelu

- a) Pohonná vozidla
 - Lokomotivy – vozidla určená jen pro pohon vlaků
 - Motorové a elektrické vozy – vozidla určená pro pohon vlaků a zároveň přepravu cestujících
 - Motorové a elektrické jednotky – soupravy vozidel, které obsahují motorové nebo elektrické vozy, osobní vozy a řídící vozy
- b) Vozy
 - Osobní – 1. a 2. třídy, poštovní, lůžkové, jídelní, služební atd.
 - Nákladní – zavřené, otevřené, nádržkové, kontejnerové, hlubinové, plošinové atd.
- c) Speciální vozidla
 - Vozidla pro opravu trakčního vedení, technologické, měřicí a čistící vozy atd.

3.2 Rozdělení dle rozchodu

- a) Široký rozchod:
 - 1676 mm, 1800 mm – Indie
 - 1674 mm – Španělsko, Portugalsko
 - 1520 mm – Rusko, Finsko, Ukrajina
- b) Normální rozchod:
 - 1435 mm – Spojené státy americké, většina Evropy, Čína
- c) Úzký rozchod:
 - 1200 mm – Švýcarsko
 - 1067 mm – Kapský rozchod (Japonsko, jižní Afrika, Austrálie, Nový Zéland)
 - 500 mm – vojenské a průmyslové dráhy po celém světě

3.3 Rozdělení podle napěťové soustavy

V historickém vývoji vzniklo a zároveň zaniklo několik napájecích proudových soustav. Především k rozdílným technickým a technologickým úrovním v různých oblastech. V dnešní době se systémy kolejových drah ustálily na jednovodičovém napájení, které je tvořeno nadzemním trolejovým vedením nebo v menším používaném způsobu napájení izolovanou kolejnicí. Tyto přívody zajišťují přívod elektrického proudu od napájecích stanic do hnacích vozidel a odvodu proudu do kolejnic. Zmíněné způsoby se dnes používají u všech elektrických drah, jen u vysokorychlostních tratí jsou menší modifikace. Napájecí trakční proudové systémy můžeme rozdělit do třech základních skupin.

3.3.1 Střídavé napájecí proudové systémy průmyslového kmitočtu 50 (60) Hz

Soustavy s průmyslovým kmitočtem 50 (60) Hz používají napětí o velikosti 25 kV. Je to nejrozšířenější způsob napájení, který se používá především pro dálkové trasy. Tuto soustavu můžeme najít na jihu Česka a Slovenska, ve Velké Británii, v Dánsku, na Ukrajině, na celém Balkánském poloostrově.

3.3.2 Střídavé napájecí proudové systémy sníženého kmitočtu $16\frac{2}{3}$ (25) Hz

Tato soustava používá napájecí napětí 15 kV. Kmitočet, který je dnes označován jako 16,7 (25) Hz, může být použit i pro napájení stejnosměrných motorů bez použití usměrňovače. Používá se v Norsku, Švédsku, Německu, Švýcarsku, Rakousku a ve Spojených státech amerických. V Česku pouze na trati u rakouských hranic.

3.3.3 Stejnosměrné napájecí proudové systémy

U této soustavy jsou trakční motory i trakční soustava napájeny stejnosměrným napětím. V různých trakčních soustavách se používá různě velká hodnota napětí. Pro jednotlivé typy soustav jsou hodnoty napětí vyobrazeny v tab. 3.

Tab. 3 Hodnota stejnosměrného napětí pro různé trakční soustavy

Trakční soustavy:	Napětí (V)
Hlavní dálkové dráhy	3000
Průmyslové dráhy	1500
Metro	750
Tramvaj, trolejbus	600
Důlní hlubinné dráhy	250

[4]

3.4 Rozdělení dle závislosti na přívodu energie do vozidla

Zdroj energie pro pohon vozidel může být dvojitý, a to vozidla závislé vozby a vozidla nezávislé vozby. Tyto zdroje energie ovlivňují konstrukci hnacích vozidel i vozů. Především u bezpečnostního opatření u osobních i nákladních vozů při provozu pod trolejovým napětím.

3.4.1 Vozidla závislé elektrické trakce

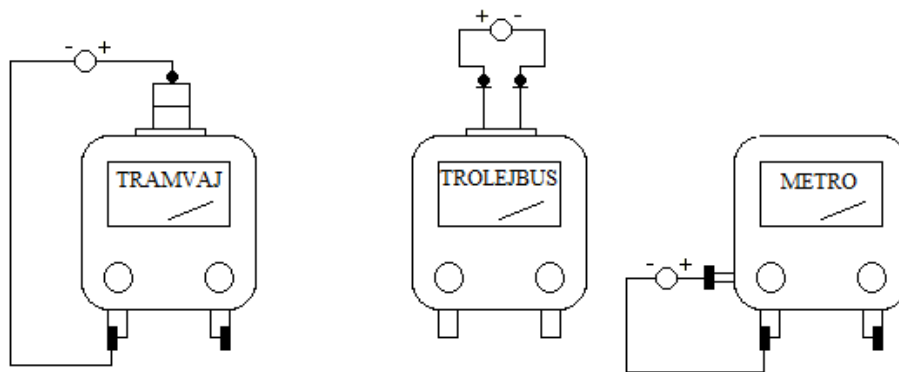
Těmto vozidlům musí být elektrická energie neustále dodávána prostřednictvím trakčního vedení nebo izolované kolejnice. Představují nejvýkonnější hnací vozidla do 5 MW. Setkáme se s nimi v městské hromadné dopravě v podobě tramvají, metra, trolejbusů nebo lokomotiv na elektrizovaných tratích. V těchto vozidlech může být uložena akumulátorová baterie, ale ta neslouží pro pohon. Používá se jen jako nouzový zdroj pro osvětlení nebo otevírání dveří.

a) Vozidla na stejnosměrné napětí

Lokomotiva na stejnosměrný proud nebo tramvaj odebírá proud pomocí pantografového sběrače z trakčního vedení. Plus pól zdroje je připojen na trolejové vedení a mínus pól na koleje. Jednoduché zobrazení je na obr. 3.1.

Metro používá pro přísun energie do vozidla pomocnou kolejnici. Po této kolejnici metro přímo nejezdí, pouze se po ní posouvá sběrač, který je umístěn na boku vozidla. Plusový pól zdroje je připojen na pomocnou kolejnici a minusový pól je připojen ke kolejm. Zobrazení je na obr. 3.1.

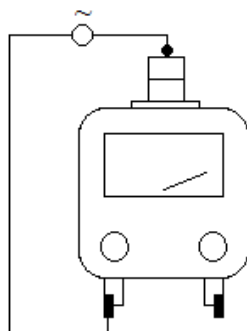
Trolejbus používá pro napájení dva trakční vodiče, které jsou nataženy rovnoběžně vedle sebe. Na střeše je umístěn speciální sběrač, který se skládá z dlouhých tyčí zakončené botkou. Tyto tyče jsou přitlačovány zespod pomocí pružiny na vedení. Obvykle se napájí pravý trakční vodič plusovým pólem a levý minusovým pólem. Napájení je rozděleno na + 300 V na pravý vodič a - 300 V na levý vodič, je to kvůli bezpečnosti, aby proti zemi bylo pouze 300 V. Jednoduché zobrazení je na obr. 3.1.



Obr. 3.1 Vozidla na stejnosměrné napětí [vlastní tvorba]

b) Vozidla na střídavé napětí

V dnešní době se používá pro napájení střídavé trakce jednofázová soustava. Je velmi podobná stejnosměrné soustavě. Lokomotivy používají stejný sběrač, jen vedení je nataženo jinak, což je popsáno v další kapitole. U starších typů lokomotiv se napětí usměrnilo a používal se stejnosměrný motor. V moderních lokomotivách se používá asynchronní motor nebo synchronní motor. Tyto motory mohou být použity, jelikož se elektrická energie upravuje výkonovými prvky a frekvenčními měniči. Pro úplnost je na obr. 3.2 jednoduché schéma.



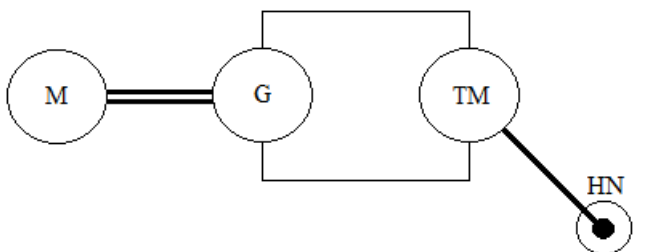
Obr. 3.2 Vozidla na střídavé napětí [vlastní tvorba]

3.4.2 Vozidla nezávislé elektrické trakce

Zdroj energie je umístěn přímo ve voze, a tím nepotřebují trvalý přívod energie. Používají se na tratích s menšími zatěžovacími proudy, které se neoplatí elektrizovat, nebo slouží k záloze při výpadku elektrické energie. Výkony jsou téměř poloviční asi do 2,5 MW. Rozeznáváme několik typů vozidel podle zdroje:

1) Dieselelektrické

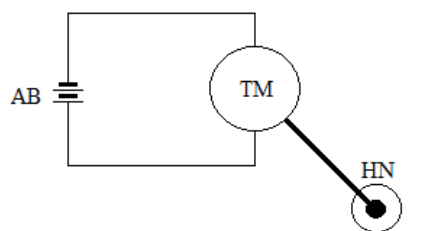
Jsou to vozidla poháněná spalovacím motorem, především na naftu. Výjimečně používají jako palivo benzín nebo plyn. Princip je zobrazen na obr. 3.3, kdy spalovací motor pohání generátor, ten vyrábí elektrickou energii, která je dále použita na pohon trakčních motorů a dalších obvodů jako jsou světla či topení.



Obr. 3.3 Schéma dieselelektrického pohonu [7]

2) Akumulátorové

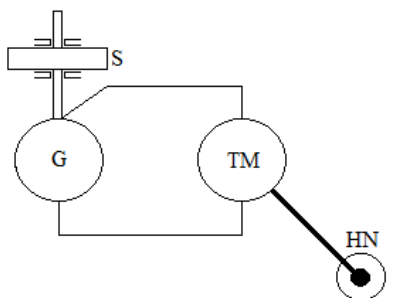
Vozidla s akumulátorovou vozbou používají elektrickou energii z akumulátorové baterie. Tyto vozidla jsou velmi těžká, jelikož hmotnost baterie je asi 80 kg na 1kWh akumulátorové baterie. Proto jsou určena pro malé rychlosti a na krátké tratě. Používají se např. ve skladištích, pro posouvání vagónů a především v dolech, kde je nebezpečí výbuchu. Princip je zobrazen na obr. 3.4.



Obr. 3.4 Schéma akumulátorového pohonu [7]

3) Setrvačnickové

Je to méně známý druh elektrické trakce. Využívá se zde nahromaděné kinetické energie v setrvačnicku o velké hmotnosti ze vztahu $E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$. Setrvačnick se roztočí pomocí elektromotoru v napájecí stanici, a dále pak pohání generátor jako v prvním případě, nebo je připojen přes spojku přímo k hnací nápravě. Používá se opět v hlubinných dolech, v kyvadlové dopravě a ve skladech. Princip je zobrazen na obr. 3.5.



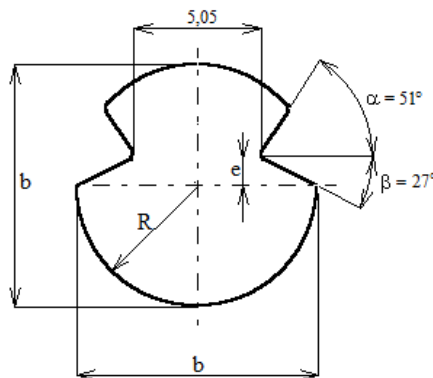
Obr. 3.5 Schéma setrvačnickového pohonu [7]

4 Trakční vedení

Trakční vedení je souhrn vodičů, které zajišťují přísun elektrické energie k vozidlu. Jelikož elektrický okruh musí být vždy uzavřen, aby procházel elektrický proud. Trakční vedení dělíme na přívodní a zpětné. Pod pojmem přívodní se bere vedení od trakční napájecí stanice k trolejovému vedení a dále ke sběrači. Za zpětné vedení se považují kolejnice a vodič, který spojuje kolejnice s napájecí stanicí. Toto platí u lokomotiv a tramvají. U metra je přívodní trolejové vedení nahrazeno třetí kolejnicí. U trolejbusu je přívodní i zpětné vedení tvořeno trolejovým vedením.

4.1 Parametry trakčního vodiče

Hlavní součástí je trolejový vodič, který má specifický průřez. Průřez je zobrazen na obr. 4.1. Zářezy slouží k uchycení vodiče. Vyrábí se tažením z elektrolytické mědi, která má čistotu 99,8 %. V méně častých případech se do mědi přidávají příměsi jako kadmium, stříbro nebo hořčík pro zvýšení pevnosti. Podle proudového zatížení se používají vodiče o průřezu 80, 100, 120 a 150 mm². Smykáním sběrače se trolejový vodič opotřebovává, pokud se průřez sníží o 30 % musí se vyměnit.



Obr. 4.1 Průřez trakčního vodiče [1]

Tab. 4 Používané průřezy trakčního vodiče

Průřez (mm ²)	b (mm)	e (mm)	R (mm)
80	10,655	1,325	5,332
100	11,955	2,237	5,977
120	13,070	2,950	6,536
150	14,600	3,850	7,300

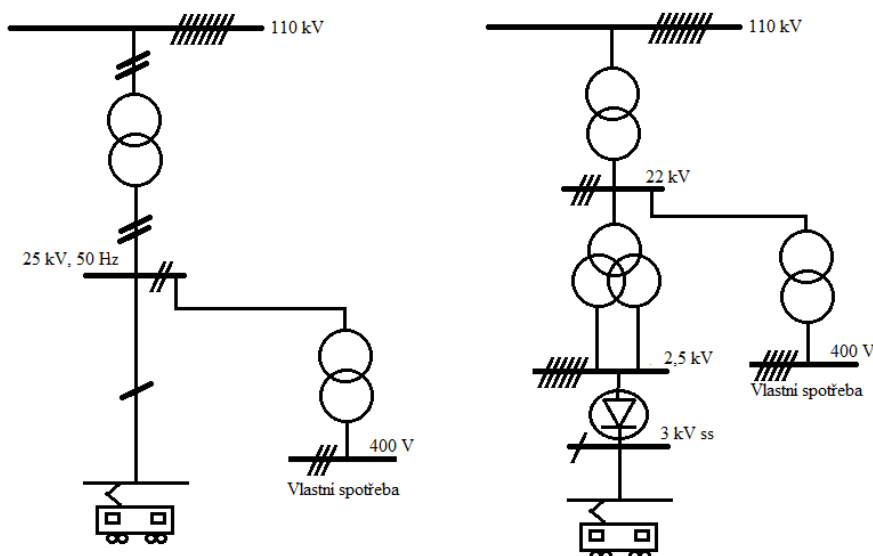
[1]

4.2 Způsoby napájení

Trakční sítě jsou rozděleny na jednotlivé úseky. Tyto úseky jsou napájeny z trakčních měníren a trakčních transformoven. Liší se tím, že trakční měnírny obsahují navíc usměrňovací prvky, tudíž se používají pro stejnosměrnou trakci. Na obr. 4.2 je zobrazeno schéma napájení železničních trakcí pro 25 kV střídavé sítě a 3 kV stejnosměrné sítě. Pro ostatní trakční soustavy je toto schéma obdobné pouze s jinými výstupními hodnotami. Z obrázku je patrné, že trakční transformovny pro napájení trakčních soustav 25 kV, 50 Hz jsou připojeny na rozvod 110 kV. Trakční měnírny pro napájení stejnosměrných sítí 3 kV jsou připojeny na 22 kV. V některých případech se trakční měnírny napájí 110 kV, jelikož nemusí být v blízkosti vedení o hodnotě 22 kV. Trakční transformovny i měnírny obsahují další transformátor 110/0,4 kV nebo 22/0,4 kV pro napájení pomocných obvodů, jako je chlazení, ventilace, jištění osvětlení apod.

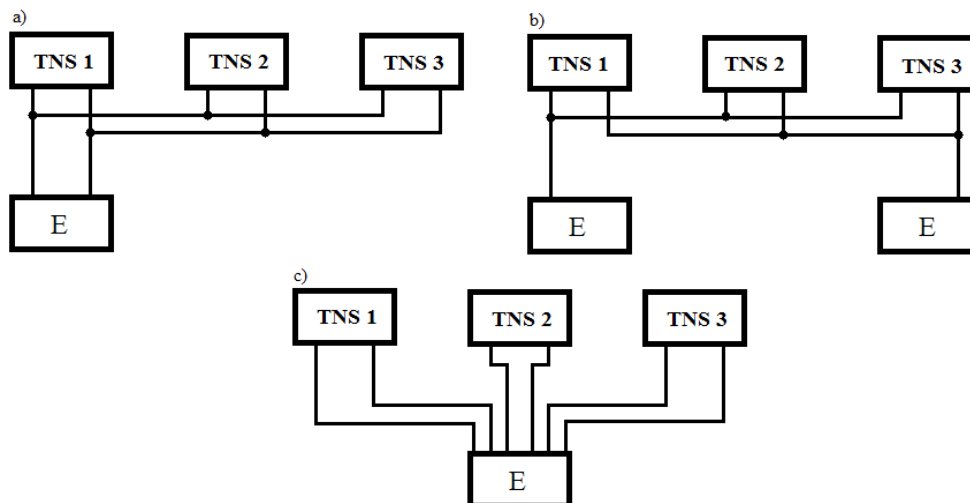
Trakční transformovny získaly svůj název podle toho, že jsou tvořeny v podstatě jen transformátorem. U trakčních vedení napájené těmito transformovny musí být napětí v každém místě vedení v určité toleranci. U 25 kV nesmí překročit hodnotu 27,5 kV a zároveň nesmí poklesnout pod 19 kV, přičemž krátkodobě může klesnout až na 17,5 kV. Jelikož je napětí vysoké oproti stejnosměrné soustavě, tak protékají menší proudy, aby byl zachován stejný výkon. Z toho důvodu mohou být transformovny vzdáleny od sebe 40 až 50 km. U střídavých drah je velký problém s vlivem na napájecí energetickou soustavu. Způsobují nesymetrii a mají malý účinník, který je potřeba kompenzovat.

Stejnoseměrné dráhy jsou napájeny z trakčních měníren. V těchto stanicích se mění třífázová energetická soustava na soustavu stejnosměrnou. U stejnosměrných drah je opět problém s poklesem napětí, jelikož s rostoucí vzdáleností roste odpor vedení. Tolerance napětí je + 20 % a - 33 %. To znamená, že u napájecí soustavy 3 kV je dovolené maximální napětí 3 600 V a minimální napětí je 3 000 V. Z důvodu takto velkých rozsahů jsou kladené velké nároky na trakční elektrické zařízení.



Obr. 4.2 Schéma trakční měnírny a transformovny pro napájení železnice [1]

Vzhledem k tomu, že přerušení dodávky elektrické energie do trakčních sítí způsobí velké hospodářské ztráty, musí se zajistit, aby k výpadkům nedocházelo. Proto se měnírny připojují ke dvěma zdrojům energie, nejlépe na sobě nezávislým. Je několik způsobů připojení měníren k energetické síti obr. 4.3. První případ je nejjednodušší, používá se v odlehlých místech, kde nejsou jiné energetické sítě. Měnírny se připojují zvláštním dvojitém vedením. Oboustranné napájení je typické pro dálkové železniční sítě. Toto napájení je bezpečné kvůli dvěma navzájem nezávislým zdrojům. Poslední způsob se používá pro městskou dopravu, kde měnírny jsou napájeny pomocí kabelů.

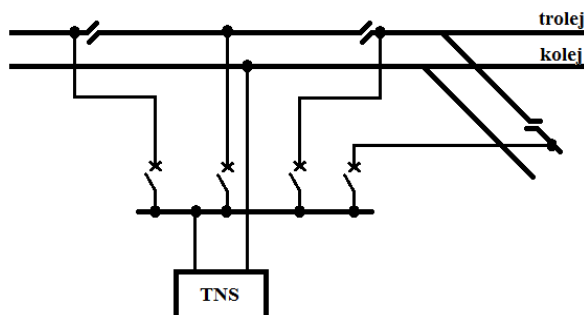


Obr. 4.3 Generální schéma připojení TNS k energetické síti [4]

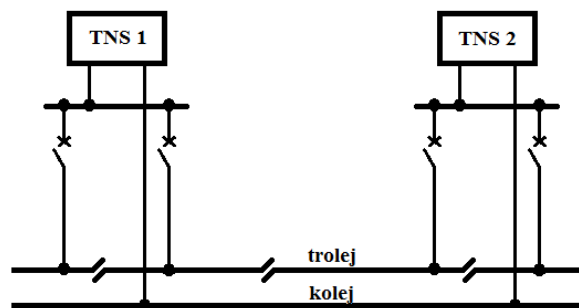
Trakční vedení jsou také rozděleny na jednotlivé úseky z důvodu lokalizace poruch a omezení napájecích proudů. Tyto úseky jsou od sebe izolovány a napájeny odděleně. Podle způsobu napájení jednotlivých úseků jsou rozděleny na:

a) Jednostranné napájení

Tento druh napájení se rozděluje na soustředěné nebo rozložené. Soustředěné se používá především u městských drah, kde jedna trakční napájecí stanice napájí několik úseků. Rozložené jednostranné napájení se používá u železničních drah, kde trakční napájecí stanice napájí vždy sousední dva úseky. Oba druhy jsou zobrazeny na obr. 4.4 a obr. 4.5.



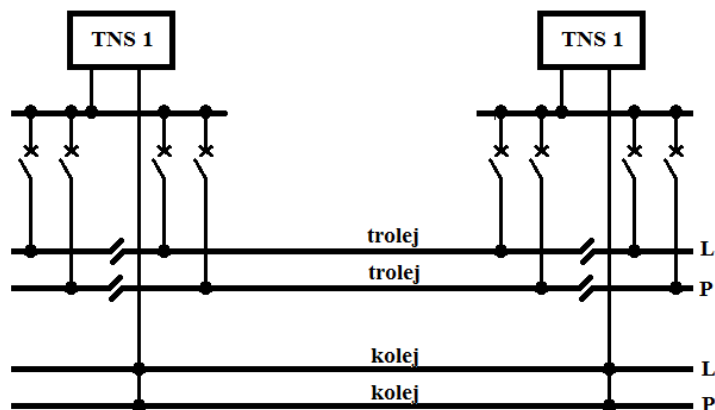
Obr. 4.4 Schéma jednostranného soustředěného napájení [1]



Obr. 4.5 Schéma jednostranného rozloženého napájení [1]

b) Dvoustranné napájení

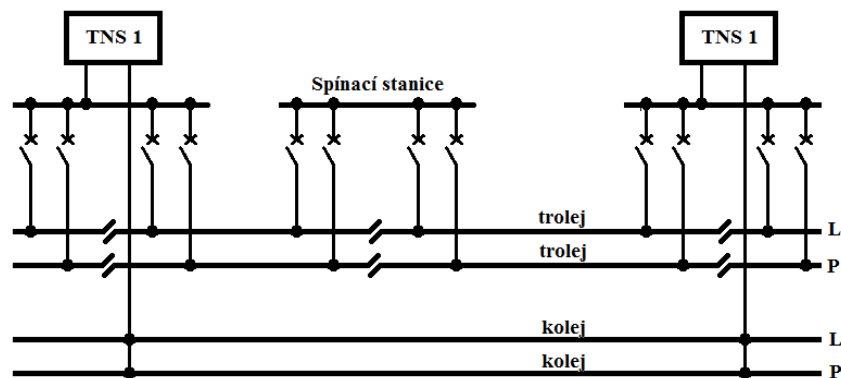
Toto napájení se používá u dvojkolejných tratí, které se rozděluje na levou a pravou stranu, kvůli lokalizaci poruch. Každý úsek je napájen ze dvou stran, proto úseky mohou být až dvakrát delší než u jednostranného napájení při stejném odběru a stejném trakčním vedením. Schéma zapojení je na obr. 4.6.



Obr. 4.6 Schéma dvoustranného napájení [1]

c) Čtyřstranné napájení

Čtyřstranné napájení je podobné jako dvoustranné napájení, jen uprostřed vedení mezi dvěma napájecími stanicemi je spínací stanice. Rozpojením této stanice vznikne jednostranné napájení. Výhodou je, že při dvojkolejně trati se může úsek z jedné strany napájet až třemi dalšími úseky. Další výhodou je, že při poruše se dá vyřadit jen malá část vedení a to jen na jedné koleji. Mezi napájecími stanicemi může být i více spínacích stanic, které mohou být doplněny přídatnými měnícími. Tento způsob se využívá u velmi namáhaných úseků např. při velkém stoupání. Názorné schéma zobrazuje obr. 4.7.



Obr. 4.7 Schéma čtyřstranného napájení [1]

4.3 Konstrukce trakčního vedení

Všechny vodiče, lana a konstrukce u trakčního vedení musí odolávat provozním a povětrnostním vlivům. Provozní vlivy jsou způsobeny protékajícím proudem a smykáním pantografu při průjezdu trakčního vozidla. Povětrnostní jevy jsou změny venkovních teplot a působení větru. Při výpočtech průhybu a mechanického namáhání vodičů a lan se vychází z mezních podmínek počasí. Tyto podmínky závisí na zeměpisné poloze a jsou určovány ze statistických údajů. V České republice platí mezní podmínky podle normy ČSN 34 1540. Mezní podmínky:

- Teplota okolí - 25 °C, bezvětří
- Teplota okolí - 5 °C, vítr podle ČSN 31 1100
- Teplota okolí - 5 °C, bezvětří, námraza působící tíhou 6,4 N/m
- Teplota okolí + 40 °C, bezvětří.

V žádné ze zmíněných podmínek nesmí namáhání vodičů a lan překročit dovolenou hodnotu. Tyto hodnoty jsou dány součinitelem bezpečnosti a pevnosti, které závisí na typu a druhu materiálu vodičů a lan. V určitých oblastech např. v horách mohou nastat výjimečné povětrnostní podmínky, jako jsou teploty, námrazy nebo rychlost větru. Při výpočtu trakčních vedení musí být tyto situace respektovány.

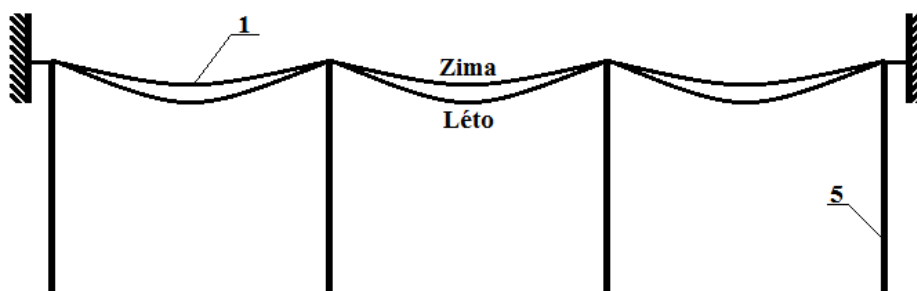
4.4 Druhy trolejových vedení

U všech natažených vodičů je problém s průhybem při změně teploty. Čím vyšší teplota, tím se délka vodičů a lan zvětšuje a naopak. Tento problém je i u kolejí, který se řeší u dlouhých tratí mezerou mezi kolejnicemi (dilatační spára), i když v dnešní době se používají bezстыkové spojení, které nemají dilatační spáry, kvůli menší hlučnosti a nemají dynamické rázy od kol projíždějících vozidel. Jsou různé druhy trolejových vedení podle kompenzování:

4.4.1 Prosté, nenapínané vedení bez nosného lana

Trolejový vodič je natažen mezi stožáry a vlastní tíhou se zformuje. Kvůli tepelné dilataci se průhyb vodiče mění v létě a v zimě. V létě je průhyb vodiče větší než v zimě. Tento druh

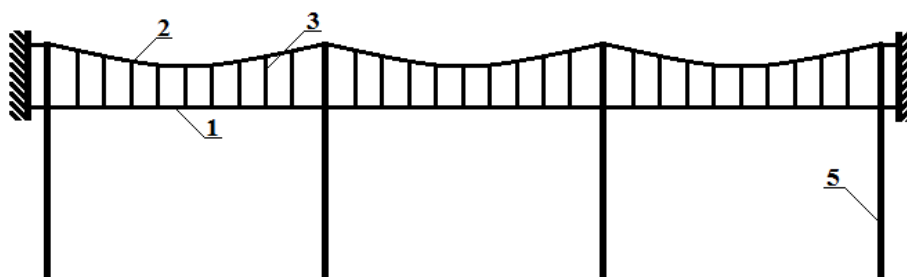
vedení se používá pro menší rychlosti do 60 km/h, především u tramvají, trolejbusů a u vedlejších železničních staničních trolejí. Tento druh vedení můžeme vidět na obr. 4.8.



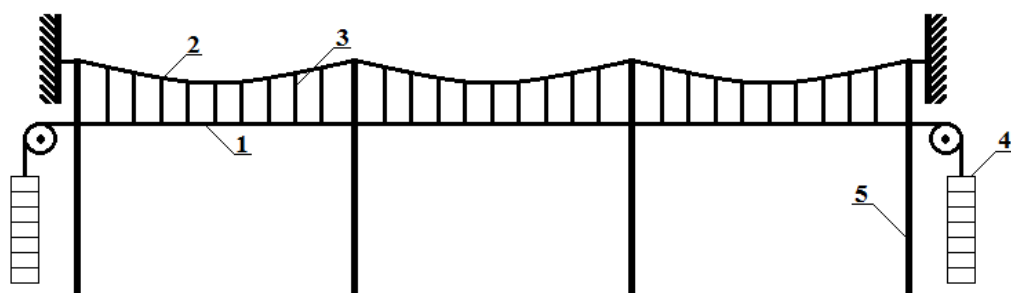
Obr. 4.8 Prosté nenapínané vedení [1]

4.4.2 Řetězovkové vedení

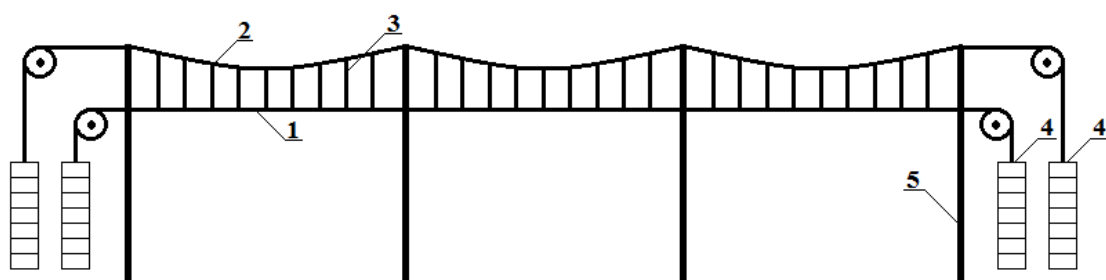
Tyto vedení jsou tvořené nosným lanem a vodorovným trolejovým vodičem. Používá se několik druhů podle kompenzování. První způsob zobrazuje obr. 4.9, který představuje řetězovkové vedení nenapínané. Nosné lano je natažené mezi stožáry a trolejový drát je vodorovně zavěšen pomocí věšáků k nosnému lanu. Trolejový drát i nosné lano je pevně uchyceno na obou koncích. Druhý způsob je polokopenzované řetězovkové vedení obr. 4.10. Rozdíl oproti předcházejícímu je ten, že trolejový drát je kompenzován. To se provádí pomocí závaží, které trolejový drát dopíná. Poslední způsob je kompenzované trakční vedení na obr. 4.11. Tento způsob kompenzuje pomocí závaží trolejový drát, ale i nosné lano. Všechny tyto způsoby se používají především u železnice, jelikož se zde dosahuje vyšších rychlostí. Kompenzované trakční vedení se používá pro rychlosti až do 160 km/h. Dnešní rychlovlaky dosahují i vyšších rychlostí, proto se u těchto tratí upravují věšáky, aby nedocházelo k nárazům v místě dlouhých věšáků. Úprava věšáků pro kompenzované vedení vyobrazuje obr. 4.12.



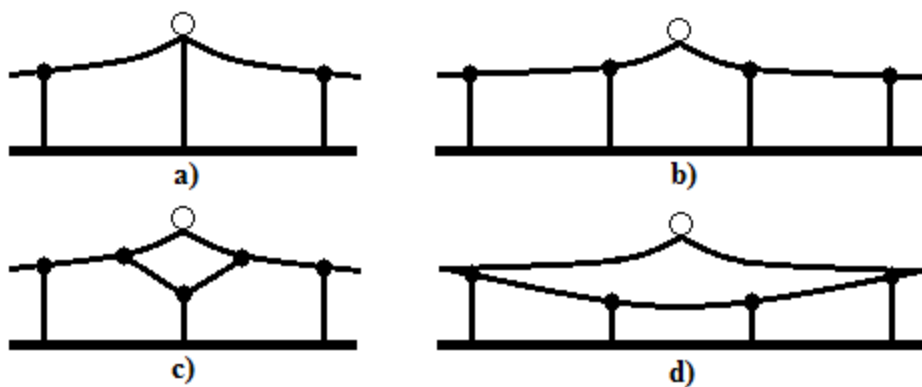
Obr. 4.9 Řetězovkové vedení nenapínané [1]



Obr. 4.10 Řetězovkové vedení polokompenzované [1]



Obr. 4.11 Řetězovkové vedení kompenzované [1]



Obr. 4.12 Úprava věšáků pro kompenzované vedení [1]

Trolejové vedení pro tramvajovou a trolejbusovou dopravu se samozřejmě také v určitých místech musí kompenzovat. Neprovádí se to však pomocí řetězovkového vedení, ale dopíná se přímo trolejový drát. Tato kompenzace se provádí především u křižovatek, ale najdeme ji i na dlouhých rovných úsecích.

5 Trakční motory

V dnešní době všechna trakční pohonná vozidla obsahují elektrické motory. Tyto motory se nazývají trakční motory. Pohonná vozidla na páru či na diesel jsou již vyřazená nebo slouží k historickým ukázkám. Nejpoužívanější trakční motor je stejnosměrný sériový motor. Ten je postupně nahrazován střídavým asynchronním motorem. Typ motoru nemusí odpovídat napájecí soustavě. Dříve se lokomotivy na střídavé napětí osazovaly usměrňovači a stejnosměrnými motory. Dnes se již využívají frekvenční měniče.

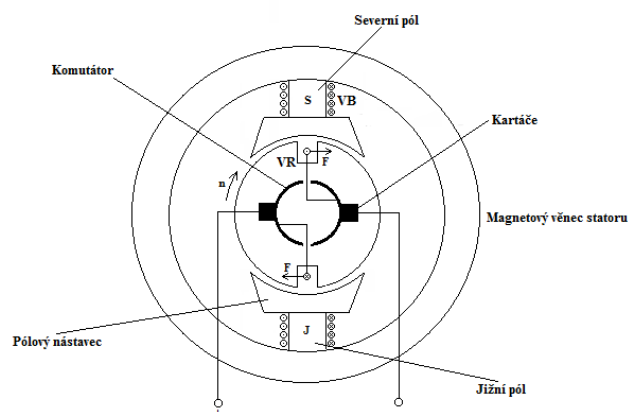
5.1 Druhy trakčních motorů

Trakčních motorů je celá řada. Pro volbu motoru jsou důležité charakteristiky vlastní, které závisí pouze na vlastnostech samotného motoru. Tyto charakteristiky udávají závislost krouticího momentu a otáček na proudu motoru při stálém svorkovém napětí. Parametry motorů se liší napájecím napětím, proudem, příkonem, výkonem, otáčkami, hmotností, chlazením, tvarem a dalšími parametry. Proto se dále zmíním jen obecně o nejpoužívanějších, kterými jsou stejnosměrný sériový motor a střídavý trojfázový asynchronní motor.

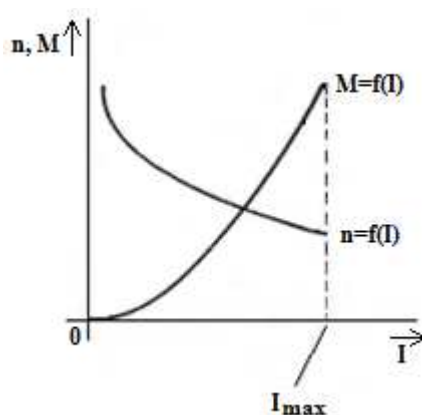
5.1.1 Stejnosměrný sériový motor

Tento motor se skládá ze statoru a rotoru. Stator je stojící pevná část, která je složená z dynamoplechů s drážkami, ve kterých je uloženo vinutí, nebo z permanentního magnetu. Rotor je otáčivá část, středem vede hřídel, na které je umístěn komutátor a kotva. Komutátor je mechanický střídač tvořený z lamel, které jsou připojeny k vinutí umístěné na kotvě. Na komutátor přiléhají uhlíkové kartáče, které rotor napájí. Nevýhodou tohoto uspořádání je, že při otáčení komutátoru se kartáče opotřebovávají a dochází k jiskření. Principiální schéma stejnosměrného motoru je vyobrazen na obr. 5.1. Na obrázku je magnetický a elektrický obvod, který má pouze dva póly a dále zde chybí kompenzační vinutí. Trakční motory mají minimálně čtyři póly. Statorové vinutí je sériově připojeno s rotorovým vinutím. Tudíž obě vinutí jsou připojeny na stejný zdroj elektrické energie. Nevýhoda oproti cize buzenému motoru je obtížnější regulace napětím, jelikož statorové buzení u cize buzeného motoru je konstantní. Ovšem velká výhoda je, že se dá napájet i střídavým napětím. Závislost momentu a otáček na proudu při konstantním svorkovém napětí je na obr. 5.2. Z charakteristik vyplývá, že největší proud teče při rozběhu, kdy motor potřebuje největší moment a malé otáčky, aby rozpohyboval hnané zařízení. Naopak malý proud teče motorem při vysokých otáčkách a malém momentu, kdy hnané zařízení už se pohybuje určitou rychlostí a motor kryje pouze třecí ztráty.

Princip motoru je jednoduchý. Po připojení napájecího napětí začne protékat obvodem stejnosměrný proud. Budící vinutí vytvoří ve statoru statické magnetické pole. Proud protéká přes pár lamel na komutátoru a příslušným vinutím, a tím se v rotoru vytvoří také magnetické pole, které se začne přitahovat k magnetickému poli ve statoru. Tím dojde k natočení rotoru a začne se napájet další pár lamel na komutátoru. Tento děj se neustále opakuje.



Obr. 5.1 Principiální schéma stejnosměrného motoru [5]

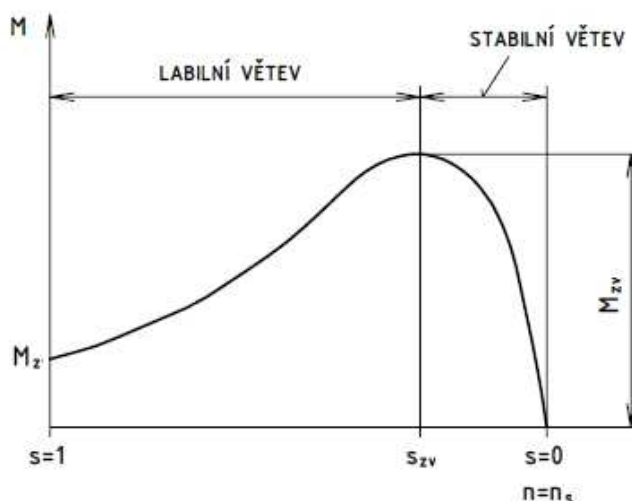


Obr. 5.2 Závislost momentu a otáček na proudu při konstantním svorkovém napětí [5]

5.1.2 Střídavý trojfázový asynchronní motor

Střídavý trojfázový asynchronní motor je elektrický točivý stroj, který pracuje na střídavý proud. Může být jednofázový i trojfázový, v elektrické trakci se však využívá pouze trojfázový. Skládá se ze statoru a rotoru. Přenos energie ze statoru na rotor je zajištěn pomocí elektromagnetické indukce, proto se tento stroj nazývá také indukční. Stator se skládá ze svazku statorových plechů s drážkami, ve kterých je uloženo statorové trojfázové vinutí. Rotor je tvořen hřídelí, na které je kotva, která může být nakrátko nebo kroužková. U kotvy nakrátko jsou neizolované tyče vloženy ve drážkách rotoru a tyto tyče jsou na koncích spojeny zkratovacími kroužky. V elektrické trakci se však používá dvojité kotvy, která může být více přetěžována. U kroužkové kotvy je v drážkách rotoru umístěno trojfázové vinutí většinou zapojeno do hvězdy a vyvedeno na kroužky, které jsou také na hřídeli. K těmto kroužkům přiléhají kartáče, které jsou připojeny na odporníky. Toto zapojení má velkou výhodu, jelikož omezuje záběrné proudy, avšak je velice energeticky ztrátové. Proto se v elektrické trakci nepoužívají, navíc když existují frekvenční měniče. Důležitou charakteristikou asynchronního motoru je momentová charakteristika obr. 5.3. Udává závislost momentu na otáčkách. Důležité parametry jsou záběrný moment M_Z a maximální moment nebo moment zvratu M_{ZV} .

Princip je opět jednoduchý. Po připojení střídavého napájecího napětí vznikne ve statoru střídavé točivé magnetické pole. Toto pole začne indukovat napětí v rotorovém vinutí. Rotorovým vinutím začne procházet střídavý elektrický proud a vznikne rotorové magnetické pole. Tyto dvě pole se vůči k sobě začnou přitahovat a rotor se začne otáčet ve směru statorového magnetického pole. Rychlost otáčení rotoru bude menší o skluz, který je potřeba k indukování napětí do rotorového vinutí.



Obr. 5.3 Momentová charakteristika asynchronního motoru [5]

5.2 Řízení trakčních motorů

Řízení trakčních motorů je velmi důležité a v dnešní době výkonové elektroniky i jednoduché. Důležité je především proto, jelikož při správném řízení nejsou tyto motory přetěžovány a pracují s největší účinností. V historickém vývoji se používaly čtyři základní způsoby řízení trakčních motorů. První prototypy trakčních vozidel nepoužívaly žádné řízení. Motory byly přímo připojeny na napájecí síť přes spínač. Toto zapojení bylo samozřejmě jednoduché, ale trakční motor byl velmi přetěžován, hlavně při rozjezdu. Poté se začalo používat řízení pomocí skupinového řazení trakčních motorů a u střídavé trakční sítě (železnice) regulace pomocí transformátoru a usměrňovače. Dalším způsobem je odporová regulace. Posledním typem je pulzní řízení stejnosměrných motorů a řízení přes měnič frekvence u střídavých asynchronních motorů.

a) Řízení pomocí dělby napětí skupinovým řazením trakčních motorů

Tento způsob může být trojí, a to sériové, sérioparalelní a paralelní řazení. V praxi se ovšem využívá pouze sérioparalelní a paralelní, jelikož motory jsou rozděleny do dvou skupin po dvou motorech. V každé skupině jsou motory trvale k sobě paralelně zapojeny a skupiny se mohou zapojit do série nebo paralelně. Princip spočívá v tom, že při rozjezdu se motory zapojí do série nebo sérioparalelně, aby se snížilo napětí. Při sérioparalelním řazení a dvou skupinách se napětí

rozdělí na polovinu. Jakmile vozidlo dosáhne určité rychlosti, zapojení se automaticky přepne na paralelní zapojení. Při paralelním zapojení je na každém motoru plné napětí.

b) Řízení regulačním transformátorem a usměrňovačem

Toto řízení se používá u střídavých trakčních sítí, jako jsou železnice, kde jsou trakční stejnosměrné motory. Toto řízení bylo v minulosti nejrozšířenějším způsobem. Hlavní součástí je regulační transformátor. K tomuto transformátoru je připojen usměrňovač a dále trakční motor. Regulace je sice automatická a poměrně účinná, ale hlavní nevýhoda spočívá v potřebě transformátoru, který je objemný a těžký.

c) Odporová regulace

Regulace se používá u stejnosměrných motorů. Princip spočívá v předřadném odporu, který je automaticky řízen. Při rozjezdu je napětí převážně na odporu. Se stoupající rychlostí se odpor postupně zmenšuje, až se vyřadí. Tato regulace má velmi malou účinnost z důvodu ztrát energie ve formě tepla na odporníku.

d) Pulzní řízení stejnosměrných motorů

Oproti předchozímu způsobu má tento způsob vyšší účinnost, i když se na výkonové elektronice také část energie ztratí. Motory jsou řízeny pulzy o určité periodě. Při rozjezdu je délka pulzu v periodě malá a postupně se zvětšuje až do konstantního napětí. Sice tato regulace je výhodná pro stejnosměrné trakční motory, ale i tak ji nahrazuje řízení frekvenčními měniči a střídavé asynchronní motory. Důvodem jsou právě asynchronní motory, které jsou rozměrově menší a jsou konstrukčně jednodušší.

e) Řízení frekvenčním měničem

Tato regulace se používá pro střídavé asynchronní trakční motory. V současné době je to jediná používaná regulace právě pro tyto motory. Základní součástí je zmíněný frekvenční měnič, který je napájen v trakční soustavě stejnosměrným nebo střídavým napětím. Dále má tři výstupy, na kterých je třífázové napětí vzájemně posunuté o 120° s požadovanou frekvencí. Frekvenční měnič může regulovat otáčky motoru od 0 do maximálních otáček. Tato regulace má nejvyšší účinnost ze všech zmíněných typů.

Ze způsobu řízení trakčních motorů jsem zmínil jen nepoužívanější. Samozřejmě je mnoho dalších způsobů. Například regulace změnou buzení, regulace generátorem, regulace metadynamem, regulace střídačem a usměrňovačem apod.

U trakčních motorů je důležitá regulace otáček i směrem dolů – brzdění. Brzdění pomocí frekvenčních měničů a pulzního řízení je poměrně jasná, dojde ke snížení frekvence nebo zkrácení pulzů. Dalším způsobem je rekuperace. Při rekuperaci přejde trakční motor do generátorového režimu a dodává zpět do sítě nebo do odporníků proud. Tím se začne motor brzdit. Tato metoda se používá pouze při vyšších rychlostech. Jakmile dojde ke snížení rychlosti pomocí rekuperace, trakční vozidla začnou brzdit klasickými čelistovými brzdami až do klidu. Dalším způsobem brzdění je protiproudem, avšak motory jsou tímto přetěžovány.

6 Tramvaj T3

Tramvaj T3 (obr. 6.1) byla pokračování tramvaje typu T2 s několika základními úpravami. První prototyp byl zhotoven v roce 1960. Sériová výroba začala v roce 1962 až do roku 1989 československou firmou ČKD Tatra Praha. Za tuto dobu jich bylo vyrobeno téměř 14 000 a byly dodány do 48 zemí světa. Rok ukončení výroby 1989 platí pro tramvaje T3, avšak tato tramvaj prošla mnohokrát modernizací. Nejnovější verze mají označení T3S, T3AS a T3P, které se vyrábějí dodnes. Ve své práci se zaměřím na klasickou tramvaj T3 a jednu z prvních modernizací T3M.

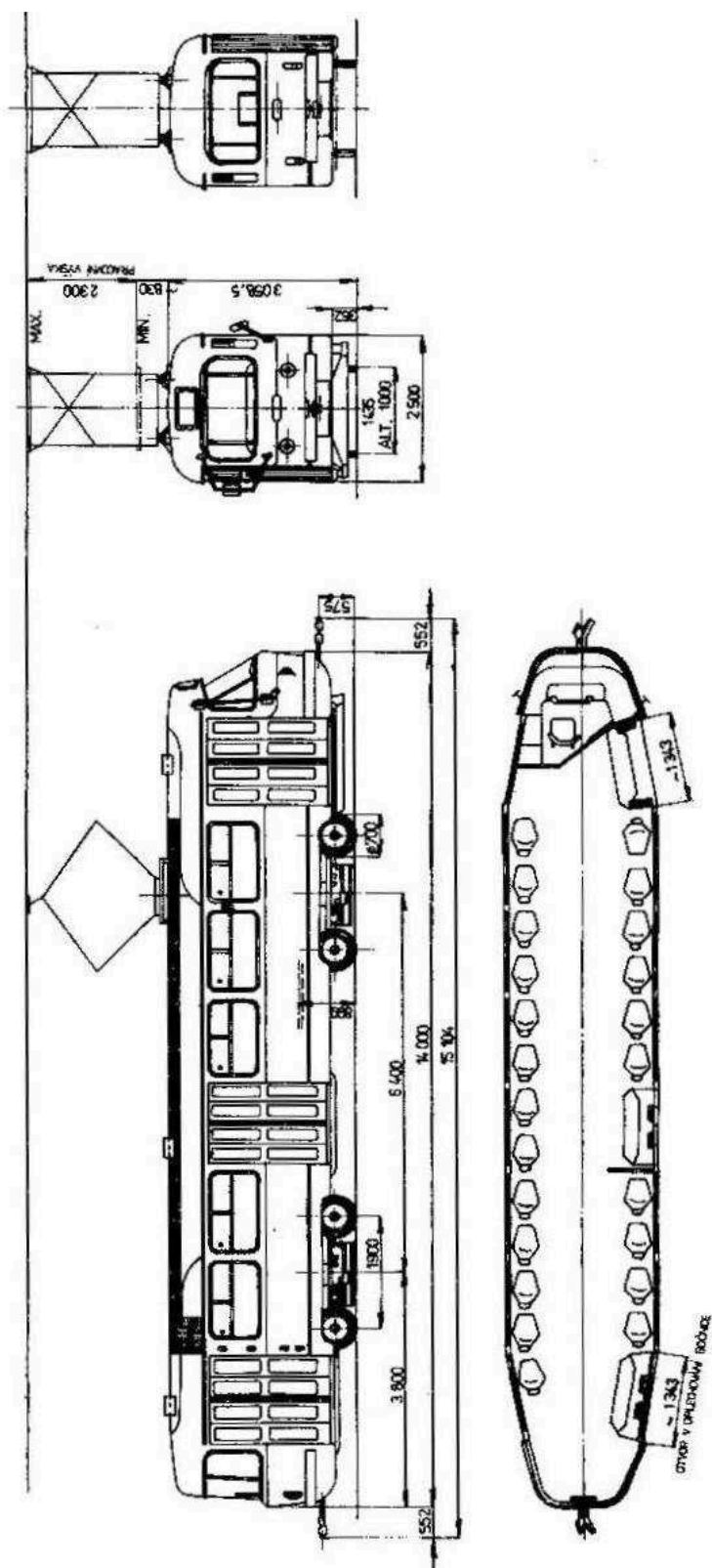


Obr. 6.1 ČKD Tatra T3M [7]

6.1 Parametry tramvaje T3 [2]

Délka vozové skříně (mm)	14 000
Délka přes spřáhla (mm)	15 200
Šířka vozové skříně (mm)	2 500
Výška vozové skříně (mm)	3 034
Vzdálenost otočných čepů podvozků (mm)	6 400
Rozvor podvozků (mm)	1 900
Výška podlahy nad temenem kolejnic (mm)	830
Průměr kol (mm)	700
Maximální rychlost (km/h)	65
Zrychlení středně obsazeného vozu (m/s^2)	0,3 až 1,3
Max. zrychlení prázdného vozu (m/s^2)	1,8
Střední zpomalení při nouzové brzdě (m/s^2)	2,3
Hmotnost prázdného vozu (kg)	16 300
Počet míst k sezení	24
Počet míst ke stání	86
Výkon motoru (kW)	4 x 44

6.1.1 Technický výkres tramvaje T3 [3]



6.2 Konstrukce tramvaje T3

Jak už jsem zmínil, tramvaj T3 se liší od svého předchůdce tramvaje T2. Především má nižší hmotnost, jelikož se začaly používat nové materiály, jako plasty a sklolamináty. Změna nastala i v pantografu, který byl už dvouramenný s jednou sběrací lištou, jelikož mnohé tramvaje typu T2 používaly kladkové sběrače. A v neposlední řadě elektrickou výzbrojí řady TR37, oproti předcházející TR36.

6.2.1 Podvozek a centrální rám

Podvozek je naprosto stejný jako u tramvaje T2. Vozidlo je čtyřnápravové, tudíž každý podvozek je dvounápravový. Rám podvozku tvoří dva půlrámy ve tvaru písmene L, kloubově spojeny pryžovými vložkami. Motorový příčník je z jedné strany připevněn k podélníku pryžovými bloky a na druhé straně je podepřen pryžovými prstenci a tím se snížilo namáhání rámu při přejezdu nerovností na kolejích. Na podvozku jsou vždy umístěny dva trakční motory s cizí ventilací, pro každou nápravu jeden. Jsou zavěšeny na motorovém příčníku, pomocí ocelového pásu a matice. Přenos krouticího momentu z motoru na soukolí je za pomoci kardanovy hřídele přes dvojstupňovou převodovku s čelním a kuželovým ozubeným převodem. Celkový převod je 1:7,36. Na hřídeli trakčních motorů jsou umístěny bubnové brzdy. A na podvozku mezi koly jsou umístěny kolejnicové brzdy. Podvozky jsou otočitelné o 180°, což umožňuje rovnoměrné sjetí okolků. Kola se skládají z pěti dílů, které jsou gumově odpružené, s vyměnitelnou obručí.

Celou skříň vozidla nese centrální rám. Tento centrální nosník je proti prostředním dveřím přerušovaný, rozděluje se a tvoří písmeno H. K tomuto centrálnímu nosníku jsou připojeny příčky. Jsou zde dva silnější nad podvozkem, na kterých jsou umístěny čepy pro uchycení otočných podvozků. A také slabší, které jsou připojeny k podlaze. Za prvním podvozkem je umístěna skříň, ve které je elektrické zařízení. Nachází se zde motorgenerátor, zrychlovač, skříň řídicích stykačů, reverzní skříň, skříň pomocných stykačů a podobně. K centrálnímu rámu jsou připojena spřáhla na obou koncích vozidla. Jsou odpružená a opatřena hlavou pro ruční spojení s možností zajištění ve střední poloze. Pro možnost více členného provozu se vozy propojují elektrickými kabelovými spojkami.

6.2.2 Skříň

Skříň je ocelová a celosvařovaná. Přední a zadní čela jsou vyrobena ze skelných laminátů. Prostor pro cestující má sedadla uspořádána příčně ve dvou řadách nebo třech řadách. Rozteč sedadel je 750 mm. Pro bezpečnost cestujících jsou vozy vybaveny vodorovnými a svislými záchytnými tyčemi. Vozidlo má troje dveře na pravé straně o průchodu 1 300 mm. Dveře jsou ovládány elektromechanicky ze stanoviště řidiče a jsou vybaveny výstražnou signalizací. Boční okna jsou vodorovně dělená a v horní části otevíratelná. Na střeše vozidla je umístěn dvouramenný pantograf s jednou hliníkovou nebo uhlíkovou sběrnou lištou. Pantograf je umístěn na izolátorech. Stavěcí výška pantografu je v rozmezí 3 800 mm do 6 000 mm výšky troleje od temene kolejnic.

6.3 Elektrická výzbroj tramvaje T3

Tramvaj T3 používá elektrickou výzbroj TR37. Je to odporová regulace, kde hlavní součástí jsou zrychlovače. Zrychlovače tvoří mnohostupňové automaticky řízené rozjezdové a brzdové odporníky. Pro rozjezd má 75 stupňů a pro elektrickou brzdu 99 stupňů. K dalšímu zvýšení rychlosti jsou k dispozici celkem 4 stupně jízdy na zeslabeném poli. Každé vozidlo obsahuje čtyři stejnosměrné sériové trakční motory TE 022, které jsou chlazeny ventilátory. Tyto ventilátory jsou napájeny trvale běžícím motorgenerátorem, který je napájen trakčním napětím a na výstupu má 24 V pro napájení obvodů malého napětí. Dále zabezpečuje chlazení trakčních motorů, odporníků zrychlovače a rozjezdových odporníků. Motorgenerátor se skládá ze sériového stejnosměrného motoru, derivačního dynama a dvou ventilátorů umístěných na společné hřídeli. Pro napájení elektrických obvodů o napětí 24 V má vozidlo akumulátorovou alkalickou baterii, která se skládá ze 17 sériově spojených článků o kapacitě 100 Ah. Tato baterie se používá i při výpadku trakčního napájení pro nouzové osvětlení, otevírání dveří, napájení kolejnicových brzd apod.

Kromě hlavních elektrických obvodů pro řízení má tramvaj samozřejmě i pomocné obvody, jako je osvětlení a vytápění. Vnitřní osvětlení je zářivkové. Venkovní osvětlení obsahuje přední reflektory, signalizační světla a brzdová světla. Prostor pro cestující se vytápí odporovými topnicemi umístěnými ve stojanech sedadel. Stanoviště řidiče je vybaveno potřebnými ovladači a signalizací, elektrickými sběrači a elektrickým kaloriferem sloužící v zimě k vytápění a rozmrzání čelního skla a v létě k větrání.

6.4 Řízení tramvaje T3

Řízení vozidla je poloautomatické, nepřímé samočinné s elektromagnetickou a elektromechanickou vazbou. Vůz se ovládá šlapkami, které přímo působí na řadič. Šlapky jsou dvě, a to jízdní a brzdová. Sešlápnutí jízdní šlapky řidič pouze volí zrychlení vozu. Vůz dosáhne vždy konečné rychlosti v závislosti na sklonu trati a hmotnosti. Po sešlápnutí šlapky se sepnou jízdní stykače a zrychlovač, který nastavuje jízdní motorek, jehož pohyb je kontrolován citlivým omezovacím relé. Tím začne vyřazování rozjezdových odporů. Omezovací relé trakčního obvodu udržuje konstantní rozjezdový proud, jehož velikost je úměrná sešlápnutí jízdní šlapky. Při elektrickém brzdění je funkce zrychlovače a omezovacího relé stejná jako při rozjezdu, příslušné obvody se však ovládají brzdovou šlapkou.

6.4.1 Základní zapojení

Trakční obvod tvoří dvě větve zapojené paralelně. V každé větvi jsou trvale zapojeny do série dvě dvojice trakčních motorů 1M+2M a 3M+4M. Trakční obvod je uzemněn přes odpory R1, R2 a k napětí trolejové sítě je připojen hlavním proudovým stykačem LS, který je vybaven maximálním relé MR. [6]

6.4.2 Rozjezd a zrychlení

Průchod proudu při jízdě v první větvi:

- trolej, hlavní stykač proudu LS, cívka maximálního relé MR, doteky stykače P1, magnety 2M+1M, doteky stykače P2, kotva motoru 2M+1M, doteky stykače M1, rozjezdové odpory zrychlovače ZR, odpory R1+R2, zem. [6]

Totéž pro druhou větev:

- trolej, hlavní stykač proudu LS, cívka maximálního relé MR, kotvy motorů 4M+3M, proudová cívka omezovacího relé OR, hlavní doteky stykače P3, magnety motoru 4M+3M, hlavní doteky stykače P4, bočník ampérmetru, hlavní doteky M1, zrychlovací odpory zrychlovače, odpory R1+R2, zem. [6]

Pro snížení proudových nárazů a plynulé zrychlení jsou do trakčního obvodu zapojeny odpory R1+R2 a stykačem P2 jsou překlenuty magnety trakčních motorů 1M+2M, při zapojení hlavního stykače proudu LS se tyto odpory a bočníky odpojují. [6]

Při zrychlování se začnou kladky zrychlovače ZR otáčet a postupně vyřazují odpory z polohy A do polohy B, kde se všechny odpory zrychlovače spojují stykačem M2. [6]

6.4.3 Trakční obvod za jízdy

Po zapojení stykače se změní průtok proudu v prvním obvodu takto:

- 600 V, stykač LS, maximální relé MR, stykač P1, magnety 2M+1M, stykač P2, kotvy motorů 2M+1M, stykače M2, R1, R2, zem. [6]

Totéž pro druhý obvod:

- 600 V, stykač LS, maximální relé MR, kotvy motorů 4M+3M, cívka relé OR, stykač P3, magnety 4M+3M, stykač P4, bočník Sh, stykače M2, R1, R2, zem. [6]

Další zvyšování rychlosti se dosahuje postupným odbuzováním cívek magnetů trakčních motorů stykači F1 až F4. Odbuzením trakčních motorů dosahuje tramvaj maximální rychlosti. [8]

6.4.4 Doběh a brzdění

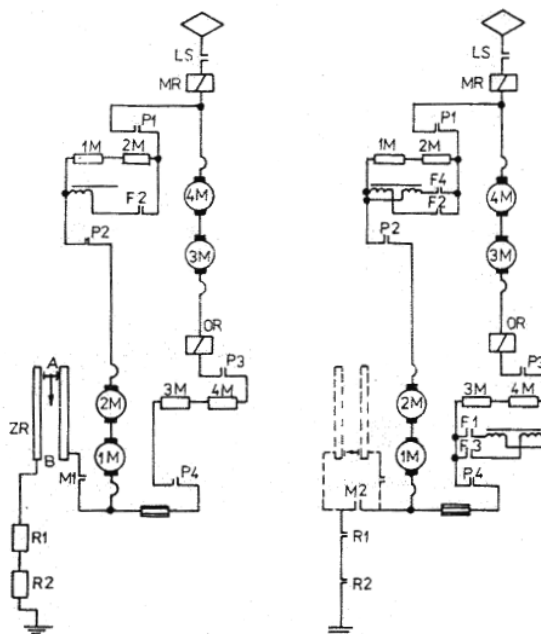
Zapojení trakčního obvodu při brzdění má rovněž dva obvody, ale kotvy a cívky magnetů obou dvojic motorů jsou vzájemně vyměněny, čímž se dosahuje stability elektrodynamického brzdění. Průtok brzdícího proudu je následovný:

- kotvy trakčních motorů 1M+2M (v kotvách je proud opačného směru než při jízdě), stykač B2, zrychlovače ZR, stykač B1, cívka relé OR, stykač P3, magnety 3M+4M, stykač P4, bočník a opět kotvy motorů 1M+2M. [6]

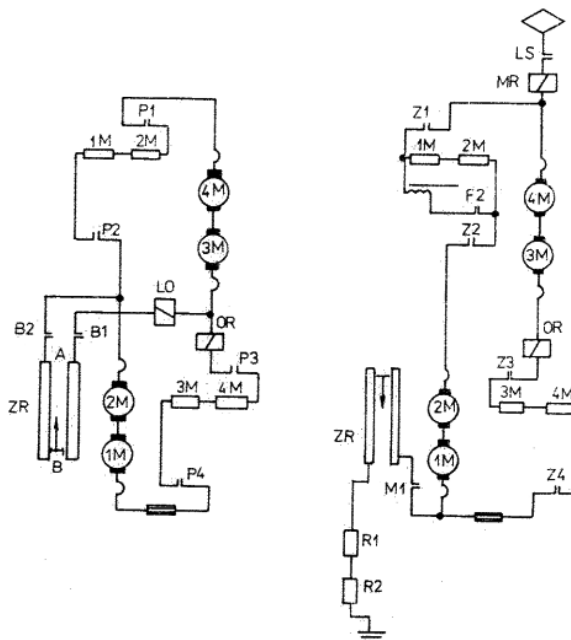
Proud ve druhém obvodu protéká kotvami motorů 3M+4M a magnety 1M+2M a dále urychlovačem, který se vrací z polohy B do A. [6]

6.4.5 Zpáteční jízda

Změna směru jízdy se dosáhne zapojením cívek magnetů trakčních motorů stykačem P1 do P4 nebo Z1 do Z4. Zrychlení, jízda i elektrodynamické brzdění při zpáteční jízdě jsou stejné jako při jízdě dopředu, s tím rozdílem, že cívky magnetů trakčních motorů jsou zapojeny stykači Z1, Z2, Z3, Z4. [6]



Obr. 6.2 Trakční obvod rozjezdu (vlevo) a jízdy (vpravo) [6]



Obr. 6.3 Trakční obvod elektrického brzdění (vlevo) a zpáteční jízdy (vpravo) [6]

6.5 Trakční motor TE 022

Motor je sériový stejnosměrný. Stator má válcový tvar s vnějším uchycením pomocí ocelových pásů. Rotor se otáčí na valivých ložiskách. Stator má tři hlavní póly a čtyři pomocné póly.

Sběrné ústrojí se skládá ze čtyř dvojitých kartáčových držáků přichycených speciálními izolátory k přednímu ložiskovému štítu. Motor má celkem 8 kartáčů. Snadný přístup ke kartáčům umožňuje boční otvory v předním štítě zakrytými snímatelnými lisovanými kryty.

Motor je chlazen vzduchem z nezávislé ventilace. Vzduch vstupuje do motoru otvorem a přírubou v plášti předního štítu nahoře a táhne jednak přes komutátor mezi póly statoru, jednak axiálními otvory v pouzdru a v aktivním železe rotoru a vystupuje otvory v čele zadního štítu.

Na kuželovém konci hřídele je nasazen náboj spojky a brzdový buben čelistové brzdy. Čelisti motorové brzdy jsou zachyceny na ložiskovém štítu motoru. Motor je spojen s převodovou skříní páru hnacích kol pomocí kardanové spojky. Motor se dodává s namontovanou čelistovou brzdou.

6.5.1 Parametry motoru

Jmenovitý výkon (kW)	40
Jmenovité napětí (V)	300
Jmenovitý proud (A)	150
Otáčky (min^{-1})	1 750
Max. otáčky (min^{-1})	4 200
Hmotnost (kg)	320
Množství chladícího vzduch (m^3/min)	7,5

6.6 Modernizovaná tramvaj T3M

Elektrická odporová výzbroj TR 37 se vyměnila za novou tyristorovou výzbroj pod názvem TV1. Tato polovodičová výzbroj sloužila jak novým vozům, tak i pro modernizaci starších vozidel. Tyristorová výzbroj umožňuje plynulé řízení a především hospodárnější provoz. Úspora energie je asi 20 %.

Vzhled se změnil minimálně. Vzadu na střeše přibyla nádoba s brzdovými odporníky a za kabinou řidiče se objevila nová skříň s ovladači.

7 Závěr

Elektrická trakce se neustále vyvíjí z několika pohledů, jako je zajištění dodávky elektrické energie, design, komfort a nízká spotřeba energie trakčních vozidel. Především díky spolehlivosti energetické sítě již v současné době nedochází k žádným výpadkům napájení trakčního vedení, anebo je dodávka obnovena do několika minut. S rostoucím životním stylem lidí musí výrobci klást velký důraz na vzhled a komfort dopravních prostředků. S ohledem na koncové uživatele se výrobci snaží o použití nových materiálů a technologií za účelem snížení ceny a spotřeby energie trakčních vozidel. Nové technologické postupy slouží ke snížení adhezních sil a odporových sil vzduchu a ke zvýšení rychlosti především u vysokorychlostních vlaků. Používají se nové aerodynamické profily a magnetická levitace.

Ve větších městech po celém světě vzniká nový problém s rostoucím počtem osobních automobilů. Ulice měst jsou přeplněné a ucpané především v době špičky. Městská hromadná doprava napomáhá odbourávat tento problém, ovšem lidé by museli obětovat své pohodlí v osobním automobilu a cestovat méně pohodlnými hromadnými prostředky. Na větší vzdálenosti je výhodnější železniční doprava než silniční, jelikož bývá levnější a především rychlejší.

Stále rostoucí silniční doprava má neblahý dopad na ovzduší kolem nás. Mám na mysli vliv spalovacích motorů na vznik smogu. V dnešní době existují již elektromobily a hybridní automobily, ale jejich rozšíření je teprve v počátcích. Elektrická trakce spadá do oblasti nejčistšího druhu hromadné dopravy, jelikož zde nevznikají škodlivé emise odpadních plynů. Na druhou stranu musím podotknout, že v České republice se elektrická energie vyrábí především v uhelných elektrárnách, což taky není nejekologičtější způsob výroby elektrické energie a vzniká zde mnoho škodlivých látek. V neposlední řadě nezanedbatelnými nedostatky silniční dopravy oproti kolejové je menší životnost cest a hlavně větší nehodovost.

Seznam literatury

- [1] MÜLLER, Jaroslav; FAMFULÍK, Jan; PALEČEK, Josef. *Mobilní prostředky a trakční zařízení II. díl*. Ostrava: Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava, 2002. 134 s. ISBN 80 – 248 – 0054 – 3.
- [2] KUBÁT, Bohumil; PENC, Miroslav. *Městská kolejová doprava*. Praha: České vysoké učení technické, 2000. 121 s. ISBN 80 – 01 – 02117 – 3.
- [3] LACEK, Mikuláš. *Městská doprava III. díl*. Praha: NADAS, 1986. 262 s.
- [4] MATOUCH, Zdeněk. *Trakční energetika*. Praha: NADAS, 1974. 628 s.
- [5] KRÁL, Jaroslav a kolektiv. *Trakční vozidla závislá*. Praha: NADAS, 1973. 562 s.
- [6] ČKD trakce. *Tramvaj T3, Popis a pokyny pro údržbu elektrické výzbroje TR 37*. Praha: ČKD Praha, závod trakce, 1989.
- [7] Dopravní podnik Ostrava, *Tramvaje*, 2013 [cit. 2013 – 02 - 15]. Dostupné z WWW: <http://dpo.cz/vozy/tramvaje.htm>
- [8] Dopravní podnik Ostrava, *Historie MHD v Ostravě*, 2006 [cit. 2013 – 01 - 9]. Dostupné z WWW: <http://dpo.cz/historie/historie.htm>
- [9] Sydos, Ročenka 2011 [cit. 2012 – 12 - 16]. Dostupné z WWW: https://www.sydos.cz/cs/rocenka-2011/rocenka/htm_cz/cz11_411000.html

Další použitá literatura:

- [10] MÜLLER, Jaroslav. *Mobilní prostředky a trakční zařízení I. díl*. Ostrava: Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava, 1998. 65 s. ISBN 80 – 7078 – 452 – 0.
- [11] FOLPRECHT, Jan a kolektiv. *Městská hromadná doprava*. Ostrava: Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava, 2005. 124 s. ISBN 80 – 248 – 0769 – 6.

Seznam tabulek a obrázků

Seznam tabulek:

Tab. 1 Dopravní park elektrické trakce v ČR.....	3
Tab. 2 Vozový park Dopravního podniku Ostrava	4
Tab. 3 Hodnota stejnosměrného napětí pro různé trakční soustavy	6
Tab. 4 Používané průřezy trakčního vodiče	10

Seznam obrázků:

Obr. 3.1 Vozidla na stejnosměrné napětí	7
Obr. 3.2 Vozidla na střídavé napětí.....	8
Obr. 3.3 Schéma dieselelektrického pohonu.....	8
Obr. 3.4 Schéma akumulátorového pohonu.....	9
Obr. 3.5 Schéma setrvačnickového pohonu.....	9
Obr. 4.1 Průřez trakčního vodiče	10
Obr. 4.2 Schéma trakční měničky a transformovny pro napájení železnice.....	11
Obr. 4.3 Generální schéma připojení TNS k energetické síti.....	12
Obr. 4.4 Schéma jednostranného soustředěného napájení	12
Obr. 4.5 Schéma jednostranného rozloženého napájení	13
Obr. 4.6 Schéma dvoustranného napájení.....	13
Obr. 4.7 Schéma čtyřstranného napájení.....	14
Obr. 4.8 Prosté nenapínané vedení.....	15
Obr. 4.9 Řetězovkové vedení nenapínané.....	15
Obr. 4.10 Řetězovkové vedení polokompenzované.....	16
Obr. 4.11 Řetězovkové vedení kompenzované.....	16
Obr. 4.12 Úprava věšáků pro kompenzované vedení.....	16
Obr. 5.1 Principiální schéma stejnosměrného motoru	18
Obr. 5.2 Závislost momentu a otáček na proudu při konstantním svorkovém napětí	18
Obr. 5.3 Momentová charakteristika asynchronního motoru.....	19
Obr. 6.1 ČKD Tatra T3M.....	21
Obr. 6.2 Trakční obvod rozjezdu a jízdy.....	26
Obr. 6.3 Trakční obvod elektrického brzdění a zpáteční jízdy	26